小麦品种(系)对麦红吸浆虫抗性指标筛选与抗性评价

郝亚楠，张　箭，龙治任，王　越，成卫宁*

(西北农林科技大学，农业部西北黄土高原作物有害生物综合治理重点实验室，陕西杨凌 712100)

摘要：【目的】筛选小麦对麦红吸浆虫 *Sitodiplosis mosellana* 抗性的准确鉴定方法，明确生产上栽培小麦品种(系)对吸浆虫的抗性，为抗虫小麦品种的筛选和利用提供科学依据。【方法】2012 - 2014 年在陕西周至县建立麦红吸浆虫抗性鉴定圃，调查并分析各参试小麦材料的估计损失率、粒被害率、穗被害率、单穗虫口和实际产量损失率及其相关性，筛选出较准确的指标；并以筛选到的指标为依据，评估参试材料的抗性。【结果】估计损失率连续两年与其他 3 个抗性指标及实际产量损失率的相关性最强，且均达到极显著水平。2012 - 2013 年参试的 85 份和 2013 - 2014 年评估的 80 份材料中，高抗、中抗和低抗材料合计分别为 25 份和 40 份；重复种植的 16 份材料中，14 份两年均表现为抗性，其中科农 1006 和晋麦 47 连续表现为高抗。【结论】估计损失率为具代表性且较准确的吸浆虫抗性鉴定指标。筛选出的抗性材料可作为抗吸浆虫的主推品种或后备品种，也可作为亲本材料进行抗性育种研究。

关键词：麦红吸浆虫；小麦品种(系)；鉴定指标；估计损失率；抗性评价

中图分类号：Q968　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**0454-6296(2014)11-1321-07

Screening of resistance indicators and evaluation of the resistance of wheat varieties to the orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae)

HAO Ya-Nan, ZHANG Jian, LONG Zhi-Ren, WANG Yue, CHENG Wei-Ning* (Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northwestern Loess Plateau, Ministry of Agriculture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract:【Aim】Our study aims to screen more accurate resistance indicators and to evaluate the resistance of wheat varieties to the orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae), so as to provide a scientific basis for screening and application of resistant wheat varieties.【Methods】During 2012 and 2013, 2013 and 2014, 85 and 83 wheat varieties were planted in the field in Zhouzhi County, Shaanxi province, respectively, and the number of larvae in wheat kernel per variety whose ear emergence growth stage was consistent with adult emergence period of insect was counted in the next year. The correlation between four resistance indicators including the estimated loss rate, percentage of infested grains, percentage of infested ears and insect number per ear, as well as the relationship between each indictor and the yield loss rate, were analyzed. According to the more accurate indicators screened, resistance of the planted wheat varieties to *S. mosellana* was evaluated.【Results】The estimated loss rate not only exhibited the highest correlation but also was highly significantly correlative with other three indicators and the yield loss rate in both years. The total number of resistant varieties among the total evaluated wheat varieties was 25 during 2012 - 2013 and 40 during 2013 - 2014, respectively. Among the 16 wheat varieties planted repeatedly, 14 varieties exhibited resistance in both years, of which Kenong 1006 and Jinmai 47 were continuously highly resistant.【Conclusion】The estimated loss rate is a representative and better resistance indicator of wheat varieties to *S. mosellana*. Resistant wheat varieties screened can be used as the main extension varieties or reserved varieties in the occurrence areas of *S. mosellana* or as the parent material for breeding of resistant varieties.

基金项目：国家自然科学基金项目(31371933)；陕西省科技统筹创新工程计划项目(2012KTCL02-10)；西北农林科技大学资助项目(TGZX2014-11)

作者简介：郝亚楠，女，1988 年生，河南洛阳人，博士研究生，研究方向为害虫综合治理，E-mail: haoya_nan@126.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: cwning@126.com

收稿日期 Received: 2014-09-02；接受日期 Accepted: 2014-10-19

Key words: *Sitodiplosis mosellana*; wheat varieties; resistance indicator; estimated loss rate; resistance evaluation

麦红吸浆虫 *Sitodiplosis mosellana*（Géhin）是小麦生产上间歇性大发生的重要害虫（Blake *et al*., 2011; Gong *et al*., 2014），以幼虫潜伏在颖壳内吸食正在灌浆的籽粒汁液，造成麦粒瘪疮、空壳或霉烂，导致小麦减产和品质下降。20 世纪 50 年代和 80 年代，麦红吸浆虫曾两次在我国大面积暴发成灾，造成巨大损失（袁锋等，2003）。近年来，该虫在我国再度猖獗，而且较前两次范围更广、危害更重（武予清等，2010，2011；Miao *et al*., 2013）。

实践证明，种植抗虫品种是有效控制吸浆虫危害的根本途径。20 世纪 50 年代末吸浆虫被控制，西农 6028 和南大 2419 发挥了重要作用；60 和 70 年代吸浆虫危害轻，丰产 3 号、咸农 151、武农 99、西育 7 号等抗虫品种功不可没；至 80 年代，由于放松了对小麦抗性的监测，小偃 6 号等感虫品种大面积种植，导致吸浆虫再次暴发（赵菊香和任芝英，1990）。近年来栽培的小麦品种多数不抗虫，吸浆虫危害呈现回升趋势，因此急需加强小麦品种（系）的鉴定和筛选工作。

抗性指标的正确选用是鉴定、筛选抗虫品种（系）的前提和基础。由于吸浆虫幼虫须在土中经过漫长的夏、秋、冬季才能解除滞育，进入正常发育，而人工饲养问题尚未解决，因此各地的抗性评估都在田间进行。但不同研究中使用的抗性鉴定指标各异，其中应用较多的有估计损失率（仇松英等，2012）、粒被害率（韩桂仲等，1990）、穗被害率（武予清等，2013）、以及穗被害率结合单穗虫口（赵菊香和任芝英，1990）等。尽管这些指标都从一定程度上反映了小麦的受害程度，但究竟哪个最能反映品种的实际抗性，更具有代表性尚不清楚。本研究以 2012－2014 年陕西西安周至县抗性鉴定圃中材料的调查数据为依据，对不同鉴定指标进行了相关分析，并就其与实际产量损失率的关系进行比较，从而筛选出较准确的指标；并运用此指标对鉴定圃中材料的抗性进行评价，以期为利用抗虫品种控制吸浆虫危害提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

参试材料均为目前生产上推广种植的品种、后备品种或精选品系。2012 年种植 85 份，2013 年 83 份，其中 16 份是从第 1 年抗性材料中筛选出来重复种植。在所有参试材料中，100 份为陕西育成品种（系），主要来源于西北农林科技大学，其余来源于中国科学院遗传与发育生物学研究所、中国农业科学院植物保护研究所、中国农业科学院作物科学研究所以及河南省农业科学院、安徽省农业科学院、山东省农业科学院、山西省农业科学院等多个单位，对照品种为 20 世纪 80 年代小麦吸浆虫大发生时陕西大面积种植的感虫品种小偃 6 号。

1.2 试验设计

鉴定圃设于麦红吸浆虫连续多年严重发生的陕西省西安市周至县侯家村，2013 年春季虫口密度为 450 万头/667 m^2，2014 年 433 万头/667 m^2。供试材料于播种适期统一播种，每品种（系）1 行，长 1.5 m，行距 25 cm，每隔 20 个品种（系）设对照 1 行。重复 1 按顺序排列，重复 2 和重复 3 随机排列。鉴定圃按大田常规管理，不施用任何农药，各品种在虫圃内自然感虫。待小麦抽穗后，隔日调查并记载各小区小麦抽穗和扬花情况，并通过网捕确定成虫发生期，对抽穗期与成虫发生期吻合的材料进行抗性鉴定。

1.3 小麦品种（系）被害调查与计算

小麦乳熟期，吸浆虫幼虫老熟但未落土前，每个品种（系）每重复随机取 15 穗，带回室内逐穗、逐粒剥查并记载麦粒中所有幼虫数。当天采的样尽量剥完，如不能完成，编号放入 4℃ 冰箱保存。最后根据统计结果计算穗被害率、粒被害率、单穗虫口和估计损失率。计算估计损失率时，麦粒中的幼虫数分为 5 级：0 级：无虫/粒；1 级：1 头/粒；2 级：2 头/粒；3 级：3 头/粒；4 级：≥4 头/粒（屈振刚等，2011）。2014 年，选取受害程度差异明显的 18 个品种（系），分别称其新鲜健康籽粒和受害籽粒的千粒重，计算产量损失率。

$$\text{估计损失率(\%)} = \frac{\sum_{1}^{4}(\text{各级粒数} \times \text{相应级别值})}{4 \times \text{总粒数}} \times 100\%;$$

$$\text{产量损失率(\%)} = \frac{\text{健康籽粒千粒重} - \text{受害籽粒千粒重}}{\text{健康籽粒千粒重}} \times 100\%。$$

1.4　抗性指标筛选

每品种(系)中，以受吸浆虫危害最重重复的穗被害率、粒被害率、单穗虫口和估计损失率代表其穗被害率、粒被害率、单穗虫口和估计损失率(郭予元，1989)，并采用 SPSS 19.0 软件对这 4 个指标，以及其与产量损失率的关系进行相关分析(徐冉等，2009)，选取与其他指标及产量损失率相关性最高的指标来评价品种(系)的受害程度。

1.5　品种(系)抗虫性评价

基于相关性分析结果，估计损失率相比其他 3 个指标更能反映品种(系)的受害程度，计算所有供试品种(系)的估计损失率(I)和对照品种(系)的估计损失率(IC)，获得抗性指数(I/IC)，并以此值作为抗性划分的标准(表 1)。

表 1　小麦品种对麦红吸浆虫抗性分级标准

Table 1　Classification standards of resistance of wheat varieties to *Sitodiplosis mosellana*

抗性级别 Resistance grade	抗虫性 Resistance	抗性指数 Resistance index
0	免疫 Immune (I)	0
1	高抗 Highly resistant (HR)	≤ 0.20
2	中抗 Moderately resistant (MR)	0.21 – 0.50
3	低抗 Lowly resistant (LR)	0.51 – 1.00
4	感虫 Susceptible (S)	>1.00

抗性指数 = 供试品种的估计损失率(I)/对照品种的估计损失率(IC)。Resistance index = Estimated loss rate of a test variety (I)/ Estimated loss rate of the control variety (IC).

2　结果与分析

2.1　小麦品种对麦红吸浆虫抗性指标间的相关关系

调查结果表明，2012 – 2013 年鉴定圃中所有参试品种(系)及对照品种的抽穗期(4 月 18 日 – 5 月 1 日)与成虫发生期(4 月 18 日 – 5 月 5 日)相吻合，因此所有参试材料的穗被害率、粒被害率、单穗虫口和估计损失率均用于相关性分析。表 2 结果表明，4 个指标间的相关性均达到了极显著水平($P < 0.01$)，其中估计损失率与其他 3 个指标间的相关性最强，平均相关系数为 0.775；其次为单穗虫口和粒被害率，平均相关系数分别为 0.767 和 0.765，而穗被害率与其他指标的相关性最低，平均相关系数为 0.587。

2013 – 2014 年鉴定圃中 3 个材料的抽穗期(5 月 5 日以后)与成虫发生期(4 月 18 日 – 5 月 4 日)不吻合，其余 80 份材料的穗被害率、粒被害率、单穗虫口和估计损失率用于相关性分析。同样，4 个指标之间的相关性均达到极显著水平($P < 0.01$)，估计损失率与其他 3 个指标相关性最强，相关系数平均为 0.822；其次为粒被害率和单穗虫口，平均相关系数分别为 0.783 和 0.756；穗被害率与其他指标的平均相关系数最低，为0.618(表 3)。

表 2　2012 – 2013 年不同抗性指标的相关系数矩阵

Table 2　Correlation coefficient matrix of different resistance indicators during 2012 – 2013

抗性指标 Resistance indicator	估计损失率 Estimated loss rate	粒被害率 Percentage of infested grains	穗被害率 Percentage of infested ears	单穗虫口 Insect number per ear
估计损失率 Estimated loss rate	1.000	0.851**	0.585**	0.890**
粒被害率 Percentage of infested grains	0.851**	1.000	0.604**	0.840**
穗被害率 Percentage of infested ears	0.585**	0.604**	1.000	0.572**
单穗虫口 Insect number per ear	0.890**	0.840**	0.572**	1.000

** 相关性达到极显著水平($P < 0.01$) Correlation is significant at the 0.01 level. 下同 The same below.

表 3　2013 – 2014 年不同抗性鉴定指标的相关系数矩阵

Table 3　Correlation coefficient matrix of different resistance indicators during 2013 – 2014

抗性指标 Resistance indicator	估计损失率 Estimated loss rate	粒被害率 Percentage of infested grains	穗被害率 Percentage of infested ears	单穗虫口 Insect number per ear
估计损失率 Estimated loss rate	1.000	0.911**	0.644**	0.912**
粒被害率 Percentage of infested grains	0.911**	1.000	0.646**	0.793**
穗被害率 Percentage of infested ears	0.644**	0.646**	1.000	0.564**
单穗虫口 Insect number per ear	0.912**	0.793**	0.564**	1.000

2.2 各抗性指标与实际产量损失率之间的相关关系

对选取的 18 个品种(系)的实际产量损失率与 4 个抗性指标进行相关性分析，结果表明，估计损失率与产量损失率之间的相关性最强，且达到极显著水平($P<0.01$)；粒被害率和单穗虫口虽与产量损失之间存在极显著相关，但相关性都低于估计损失率；穗被害率与产量损失率相关性最低，未达到显著水平。即以上 4 个指标中，估计损失率最能反映小麦的实际受害程度(表 4)。

表 4 不同抗性鉴定指标与产量损失率的相关性

Table 4 Correlation between different resistant indicators and the yield loss rate

抗性指标 Resistance indicator	产量损失率 Yield loss rate *r*	*P*	N
估计损失率 Estimated loss rate	0.822	<0.001	18
粒被害率 Percentage of infested grains	0.807	<0.001	18
穗被害率 Percentage of infested ears	0.462	0.053	18
单穗虫口 Insect number per ear	0.813	<0.001	18

2.3 小麦品种(系)对麦红吸浆虫抗性鉴定结果

以上结果表明，连续 2 年估计损失率与其他抗性指标的相关性均最强，且与实际产量损失关系最密切，因此，本研究以该指标为依据，以对照品种估计损失率为参照，对参试材料进行抗性评估。结果(表 5)表明，连续两年生育期与成虫发生期吻合的所有材料均受到麦红吸浆虫的危害，即无免疫材料，但不同小麦品种(系)抗性存在明显差异。2012 - 2013 年参试的 85 份材料中，高抗 2 份，中抗 4 份，低抗 19 份，合计抗性材料 25 份，占全部参试材料的 29.41%；感性材料 60 份，占 70.59%。从平均估计损失率来看，2013 年麦红吸浆虫发生量较小，参试材料受害较轻。高抗与中抗材料的估计损失率之间差异不显著，其余抗级之间均达到显著差异。2013 - 2014 年用于抗性评估的 80 份材料中，高抗 10 份，中抗 7 份，低抗 23 份，合计抗性材料 40 份，占评估材料的 50%，感性材料亦 40 份，占 50%。各抗性等级材料的受害程度均高于上一年，且各抗级之间估计损失率差异均显著。

表 5 小麦品种(系)对麦红吸浆虫抗性鉴定结果

Table 5 Resistance of wheat varieties to *Sitodiplosis mosellana*

抗虫性 Resistance	2012 - 2013 鉴定的小麦品种数 Number of wheat varieties evaluated	所占比例(%) Percent	估计损失率(%) Estimated loss rate	抗性指数 Resistance index	2013 - 2014 鉴定的小麦品种数 Number of wheat varieties evaluated	所占比例(%) Percent	估计损失率(%) Estimated loss rate	抗性指数 Resistance index
免疫 Immune (I)	0	0	-	-	0	0	-	-
高抗 Highly resistant (HR)	2	2.35	0.48 ±0.06 c	0.17	10	12.5	1.50 ±0.44 d	0.06
中抗 Moderately resistant (MR)	4	4.71	1.19 ±0.15 c	0.42	7	8.75	8.03 ±0.90 c	0.33
低抗 Lowly resistant (LR)	19	22.35	2.17 ±0.10 b	0.77	23	28.75	18.99 ±0.83 b	0.78
感虫 Susceptible (S)	60	70.59	5.68 ±0.32 a	2.01	40	50	36.02 ±1.28 a	1.48

不同字母表示邓肯氏多重比较差异显著($P<0.05$)。Different letters represent significant difference at the 0.05 level according to Duncan's multiple range test.

2.4 对麦红吸浆虫抗性表现较好的小麦品种(系)

2012 - 2013 年筛选出抗性材料共 25 份(表 6)，2013 - 2014 年 40 份(表 7)。在 2012 - 2013 年筛选的 25 份材料中，16 份第 2 年重复种植，14 份仍然表现为抗性。其中科农 1006 和晋麦 47 两年均表现为高抗，美国 146 和科农 3106 均表现为中抗，科农 2009、抗白 3、陕农 33、中优 206、陕 319 和渭丰 151 均表现为低抗；陕麦 139 和西农 0210 头一年表现为中抗，第 2 年分别表现为高抗和低抗；山农 0538 和丰产 0818 头一年表现低抗，第 2 年分别表现为中抗和高抗。2 份(西农 739 和西农 979)头一年表现为低抗，第 2 年为感虫。

3 讨论

自 20 世纪 50 年代曾省(1965)根据 4 头幼虫可

表 6　2012－2013 年对麦红吸浆虫抗性表现较好的小麦品种(系)

Table 6　Wheat varieties resistant to *Sitodiplosis mosellana* during 2012－2013

抗性级别 Resistance grade	抗虫性 Resistance	小麦品种 Wheat varieties
1	高抗 Highly resistant (HR)	科农 1006，晋麦 47
2	中抗 Moderately resistant (MR)	陕麦 139，美国 146，西农 0210，科农 3106
3	低抗 Lowly resistant (LR)	山农 0538，抗条 9 号，丰产 0818，科农 2009，中植 1 号，西农 739，郑丰 7 号，武农 21，抗白 3，陕农 33，中优 206，山农抗赤 1 号，陕农 138，西农 1918，秦农 29，西农 979，N0234，陕 319，渭丰 151

表 7　2013－2014 年对麦红吸浆虫抗性表现较好的小麦品种(系)

Table 7　Wheat varieties resistant to *Sitodiplosis mosellana* during 2013－2014

抗性级别 Resistance grade	抗虫性 Resistance	小麦品种 Wheat varieties
1	高抗 Highly resistant (HR)	中植 9 号，丰产 0818，偃麦 5 号，陕麦 139，中麦 349，陕垦 32，早熟 6061，河东乌麦，晋麦 47，科农 1006
2	中抗 Moderately resistant (MR)	美国 146，山农 0538，科农 3106，山农 0919，西农 78(6)9-2-39，小偃 312，糯麦 1 号
3	低抗 Lowly resistant (LR)	百农 03-4066，西农 889，中优 206，西农 0210，洛麦 27，加大穗，小偃 58，淮麦 25，抗白 3，渭丰 151，远丰 94，陕垦 224，西农 9871，陕农 33，郑麦 8329，抗赤 6 号，科农 2009，陕麦 159，中麦 175，武农 9 号，山农特大粒 1 号，淮麦 0320，陕 319

吃光整个麦粒的推断提出本文吸浆虫估计损失率的算法后，此公式即被应用。然而，在实际调查中，常常发现一个麦粒上多于 4 头幼虫而麦粒并未被完全取食，有时甚至被害不足 50% 的现象，因此该估计损失率算法与实际产量损失率以及其他各危害指标间的关系究竟如何？本实验对此首次进行了研究。结果表明，估计损失率不仅与粒被害率、穗被害率和单穗虫口相关性最强，而且与实际产量损失率之间的相关性也强于其他指标，且均达到极显著水平，说明估计损失率能反映小麦的实际受害程度，且相比其他各指标准确、可靠。武予清等(2013)提出的以穗被害率为基础的抗性分级方法，可大大减轻工作量，提高效率，但本实验中该指标与其他 3 个指标相关性较低，且与实际产量损失率之间的相关性未达到显著水平，说明穗被害率单独使用仅适合于大量品种的田间初步筛选。以粒被害率和单穗虫口为指标，不仅工作量没有减轻，而且准确性不如估计损失率，这可能与麦红吸浆虫幼虫在麦穗上呈聚集分布有关(苗进等，2011)。

郭予元(1989)制定了以估计损失率为基础的相对定级标准，此后该标准被广泛使用。但在此方法中，无论参试品种整体的抗感性如何，即使所有的品种均抗虫或感虫，均以所有参试品种估计损失率的平均值作为参照，准确性欠佳。而以估计损失率为基础的抗性指数(史忠良等，2003；屈会选等，2005)定级标准采用当地多年来公认的感性品种作为参照，无论年度间吸浆虫发生量如何变化，其相对抗性不会发生变化，鉴定结果较为可靠(成卫宁等，2006)，因此本研究采用抗性指数法进行鉴定。

在两年重复种植的 16 份材料中，科农 1006 和晋麦 47 两年均表现为高抗，可在田间不采取其他任何防治措施的情况下有效控制吸浆虫的危害，可以在生产上大力推广，或作为抗性育种材料进行研究(段灿星等，2003；尹青云等，2003)；美国 146 和科农 3106 两年均表现为中抗，可在一定程度上降低吸浆虫的危害，在吸浆虫没有严重暴发的地区种植或作为抗性研究材料；科农 2009、抗白 3、陕农 33、中优 206、陕 319 和渭丰 151 两年均表现为低抗，若要进行种植，必须结合其他方法进行防治，以免造成严重的产量损失；陕麦 139、西农 0210、山农 0538、丰产 0818、西农 739 和西农 979 两年抗性不一致，需进一步进行鉴定，这是由于麦红吸浆虫在田间呈聚集分布。目前生产上极度缺乏抗吸浆虫品种的情况下，筛选的抗性材料不一定能满足生产的需求，因为较好的农艺性状和产量也是一个好的推广品种所该具备的基本条件，因此抗虫品种的选育工作任重而道远。小麦品种(系)对麦红吸浆虫的抗性主要受其形态特征(韩桂仲等，1990)和生化物质(丁红建和郭予元，1993；史忠良等；2002)的影响，而这些指标均由抗虫基因所决定。从筛选出的抗性品种材料中发掘抗虫基因(McKenzie *et al.*，2002；Blake *et al.*，2011)，并将其转入高产优质小麦中，

培育新的抗虫品种将是推动小麦抗吸浆虫育种进程的有效措施。

参考文献(References)

Blake NK, Stougaard RN, Weaver DK, Sherman JD, Lanning SP, Naruoka Y, Xue Q, Martin JM, Talbert LE, 2011. Identification of a quantitative trait locus for resistance to *Sitodiplosis mosellana* (Gehin), the orange wheat blossom midge, in spring wheat. *Plant Breeding*, 130(1): 25–30.

Cheng WN, Li XL, Wu JX, Li JJ, 2006. A method on resistance evaluation of wheat varieties to *Sitodiplosis mosellana*. *Agric. Res. Arid. Areas*, 24(6): 44–47. [成卫宁, 李修炼, 仵均祥, 李建军, 2006. 小麦品种(系)抗麦红吸浆虫鉴定技术研究. 干旱地区农业研究, 24(6): 44–47]

Ding HJ, Guo YY, 1993. Studies on the relationship between the components and the structure of wheat kernel and the resistance mechanism to wheat midge. *Sci. Agric. Sin.*, 26(1): 56–62. [丁红建, 郭予元, 1993. 小麦籽粒内含物及组织学结构与抗吸浆虫关系的研究. 中国农业科学, 26(1): 56–62]

Duan CX, Wang XM, Zhu ZD, 2003. Research and utilization of pest-resistant crop germplasm resources. *J. Plant Genet. Resour.*, 4(4): 360–364. [段灿星, 王晓鸣, 朱振东, 2003. 作物抗虫种质资源的研究与应用. 植物遗传资源学报, 4(4): 360–364]

Gong ZJ, Miao J, Duan Y, Jiang YL, Li T, Wu YQ, 2014. Identification and expression profile analysis of putative odorant-binding proteins in *Sitodiplosis mosellana* (Gehin) (Diptera: Cecidomyiidae). *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 444(2): 164–170.

Guo YY, 1989. Evaluation on wheat variety resistance to *Sitodiplosis mosellana* using the method of rating relative scale. *Plant Prot.*, 15(6): 33. [郭予元, 1989. 用相对定级标准鉴定小麦品种对吸浆虫的抗性. 植物保护, 15(6): 33]

Han GZ, Gao JS, Wang SL, Yuan GH, Zheng XY, 1990. Studies on the resistance of wheat varieties to the wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Gehin). *Acta Phytophy. Sin.*, 17(3): 200–208. [韩桂仲, 高九思, 王胜亮, 原国辉, 郑祥义, 1990. 小麦品种对麦红吸浆虫抗性的研究. 植物保护学报, 17(3): 200–208]

McKenzie RIH, Lamb RJ, Aung T, Wise IL, Barker P, Olfert OO, 2002. Inheritance of resistance to wheat midge, *Sitodiplosis mosellana*, in spring wheat. *Plant Breeding*, (121): 383–388.

Miao J, Wu YQ, Gong ZJ, He YZ, Duan Y, Jiang YL, 2013. Long-distance wind-borne dispersal of *Sitodiplosis mosellana* Géhin (Diptera: Cecidomyiidae) in northern China. *J. Insect Behav.*, 26(1): 120–129.

Miao J, Wu YQ, Yu ZX, Chen HS, Jiang YL, Duan Y, 2011. Spatial pattern of *Sitodiplosis mosellana* and its egg parasitoids mixed population. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 22(3): 779–784. [苗进, 武予清, 郁振兴, 陈华爽, 蒋月丽, 段云, 2011. 麦红吸浆虫及其卵寄生蜂混合种群空间格局. 应用生态学报, 22(3): 779–784]

Qiu SY, Shi XF, Shi ZL, Zhang SL, Xie FL, Gao W, Lu LH, 2011. Genetic diversity of wheat midge resistant varieties by phenotype and simple sequence repeat (SSR) markers analysis. *Journal of Triticeae Crops*, 31(6): 1050–1056. [仇松英, 史晓芳, 史忠良, 张松令, 谢福来, 高炜, 逯腊虎, 2012. 小麦抗麦红吸浆虫品种遗传多样性的表型和 SSR 标记分析. 麦类作物学报, 31(6): 1050–1056]

Qu HX, Dang JY, Cheng MF, Xie XS, Cao YZ, 2005. Analysis and evaluation of resistance in new wheat varieties to *Sitadiplosis mosellana* (Gehin). *Journal of Triticeae Crops*, 25(5): 137–139. [屈会选, 党建友, 程麦风, 谢咸升, 曹雅忠, 2005. 小麦新品种(系)对麦红吸浆虫抗性的鉴定与分析. 麦类作物学报, 25(5): 137–139]

Qu ZG, Wen SM, Qu Y, Liu GR, 2011. Evaluation and identification of wheat varieties resistant to *Sitodiplosis mosellana*. *Plant Genet. Resour.*, 12(1): 121–124. [屈振刚, 温树敏, 屈赟, 刘桂茹, 2011. 小麦品种抗麦红吸浆虫鉴定与抗性分析. 植物遗传资源学报, 12(1): 121–124]

Shi ZL, Qiu SY, Ma AP, Xu GY, Wu JP, Lu LH, 2002. Studies on the mechanism of biochemical resistance to wheat blossom midge. *Journal of Triticeae Crops*, 22(4): 63–65. [史忠良, 仇松英, 马爱萍, 许钢垣, 武计平, 逯腊虎, 2002. 小麦对麦红吸浆虫生化抗性机制的研究. 麦类作物学报, 22(4): 63–65]

Shi ZL, Qiu SY, Ma AP, Xu GY, Wu JP, Lu LH, 2003. Studies on the resistance mechanism of wheat to wheat midge. *Acta Agric. Boreali-Sin.*, 18(1): 100–102. [史忠良, 仇松英, 马爱萍, 许钢垣, 武计平, 逯腊虎, 2003. 冬小麦对麦红吸浆虫抗性机制研究初报. 华北农学报, 18(1): 100–102]

Wu YQ, Duan AJ, Zhang ZQ, Liu CY, Liu ST, Jiang YL, Miao J, Duan Y, Gong ZJ, Li T, 2013. Resistance grading method and evaluation in wheat varieties to orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) in China. *Acta Agron. Sin.*, 39(12): 2171–2176. [武予清, 段爱菊, 张自启, 刘长营, 刘顺通, 蒋月丽, 苗进, 段云, 巩中军, 李彤, 2013. 小麦品种的麦红吸浆虫抗性分级方法及抗性评价. 作物学报, 39(12): 2171–2176]

Wu YQ, Liu ST, Duan AJ, Liu CY, Zhang ZQ, Jiang YL, Duan Y, 2010. A note of natural host cereals of *Sitodiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) in western Henan Province, China. *Plant Prot.*, 36(5): 138–140. [武予清, 刘顺通, 段爱菊, 刘长营, 张子启, 蒋月丽, 段云, 2010. 河南西部小麦红吸浆虫禾本科寄主植物的记述. 植物保护, 36(5): 138–140]

Wu YQ, Miao J, Duan Y, Jiang YL, Gong ZJ, 2011. Research and Control of Orange Wheat Blossom Midge. Science Press, Beijing. 1–10. [武予清, 苗进, 段云, 蒋月丽, 巩中军, 2011. 麦红吸浆虫的研究与防治. 北京: 科学出版社. 1–10]

Xu R, Li W, Zhang LF, Wang CJ, Dai HY, Xing H, 2009. Relationship between resistance to whitefly (*Bemisia tabaci* Gennadius) and agronomic and quality traits of soybean. *Sci. Agri. Sin.*, 42(4): 1252–1257. [徐冉, 李伟, 张礼凤, 王彩洁, 戴海英, 邢邯, 2009. 大豆抗烟粉虱(*Bemisia tabaci* Gennadius)与农艺品质性状的关系. 中国农业科学, 42(4): 1252–1257]

Yin QY, Zheng WY, Xie XS, Li F, Fan SQ, Zheng XL, 2003. Advances

in the study on wheat variety resistance to wheat midge and innovation and application of resistance germplasm resources. *Journal of Triticeae Crops*, 23(2): 88 -91. [尹青云, 郑王义, 谢咸升, 李峰, 范绍强, 郑晓玲, 2003. 小麦品种对麦红吸浆虫的抗性及抗性种质资源创新应用研究进展. 麦类作物学报, 23(2): 88 -91]

Yuan F, Wu JX, Hua BZ, Liu YH, Zhu CS, 2003. Studies on plagues caused by *Sitodiplosis mosellana* (Gehin) and their law and control. *J. Northwest Sci-Tech Univ. Agric. For.* (*Nat. Sci. Ed.*), 31(1): 43 -48. [袁锋, 仵均祥, 花保祯, 刘延虹, 祝传书, 2003. 麦红吸浆虫的灾害与成灾规律研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 31(1): 43 -48]

Zeng X, 1965. Wheat Blossom Midge. Agriculture Press, Beijing. [曾省, 1965. 小麦吸浆虫. 北京: 农业出版社]

Zhao JX, Ren ZY, 1990. Identification on resistance of wheat varieties to wheat orange blossom midge. *J. Shaanxi Agric. Sci.* (4): 5 -6. [赵菊香, 任芝英, 1990. 小麦品种资源对麦红吸浆虫的抗性鉴定. 陕西农业科学, (4): 5 -6]

(责任编辑：袁德成)